

LNG燃料タグボートに 関する研究開発報告書

一般財団法人 日本海事協会
日本郵船株式会社
新潟原動機株式会社
京浜ドック株式会社

目次

1. テーマ選定の背景・理由
2. 目的
3. 研究内容
 - 研究スケジュール及び体制
4. 成果
 - LNG推進システムの選定
 - 機器・安全要件の分析
 - 見極め
5. まとめ
6. 今後の課題

1. テーマ選定の背景・理由

環境問題で世界的に船舶からの排気ガス規制が導入される中、環境に優しいクリーンなLNGを燃料とするエンジンと、それを搭載する船舶の開発が行われている



特に港湾内では一層厳しい排気ガス規制が検討されており、そこで運航されるタグボートについても、LNGを燃料とする事が環境問題に対応する有望な解決策の一つと考えられる

2. 目的

環境に優しいクリーンなLNGを燃料とするタグボートの実用化に向け、以下の項目を検討する

①推進システムの選定

- タグボートの運航形態を考慮した最適な推進システムを選定する

②安全要件策定

- 内航船を考慮した安全要件を策定する為の知見を得る

③環境整備

- 港湾内のインフラを含む、環境整備に向けての知見を得る

3. 研究内容

東京湾におけるLNG基地用に運航されるタグボートを想定して以下の検討を行い、内航LNG燃料船の実用化に向けた研究開発を進めた。

LNG推進システムの選定

機器・安全要件の分析

見極め

研究スケジュール及び体制

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
1. LNG推進システムの選定										
①推進システムの組合せ候補	→									
②東京湾のタグオペレーション情報の入手	→									
③スペックに応じた適合システムの絞込み	→									
2. 機器・安全要件の分析										
①ガスタンクの選定 ②付属機器の検討	→									
③安全要件の検討	→									
3. 見極め										
①最適なLNG燃料システムの選定 ②実用可能なシステムの構築 ③インフラ調査	→									

体制

一般財団法人 日本海事協会
日本郵船株式会社

新潟原動機株式会社
京浜ドック株式会社

4. 成果

4-1. LNG推進
システムの選
定

4-2. 機器・安
全要件の分析

4-3. 見極め

4-1. LNG推進システムの選定

4-1-1. LNG推進システムの組合せ候補

4-1-2. 東京湾のタグオペレーション情報の入手

4-1-3. スペックに応じた適合システムの絞込み

4-1-1. LNG推進システムの組合せ候補

- ▶ 推進システムの検討に必要な各構成要素は以下の通りで、それぞれについて検討した。

主機

ガス専焼

ガス・燃料油混焼

駆動方式

直結

ハイブリッド

バッテリー
有り

バッテリー
無し

電気推進

推進方式

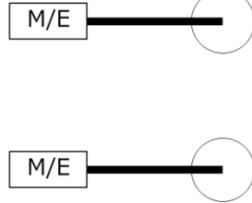
固定ピッチプロペラ
(FPP)

可変ピッチプロペラ
(CPP)

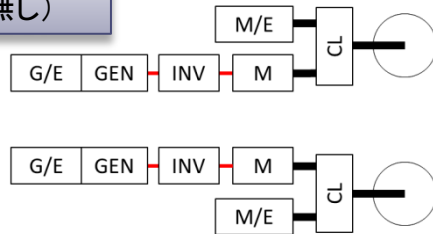
4-1-1. 推進システム 概念図

直結方式

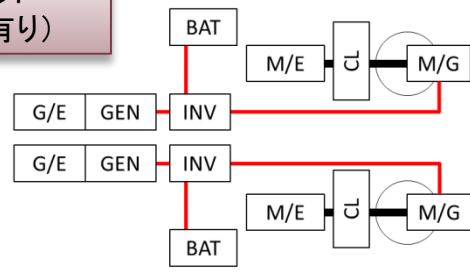
従来型



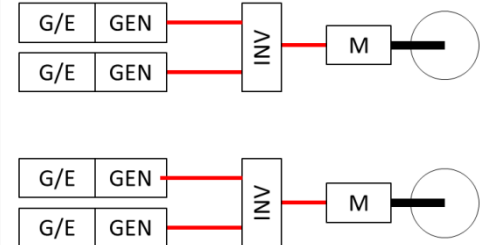
ハイブリッド
(バッテリー無し)



ハイブリッド
(バッテリー有り)



電気推進方式



M/E ...主機
G/E ...補機
GEN ...発電機
INV ...インバータ

M ...モータ
CL ...クラッチ
BAT ...バッテリー
M/G ...モータ/ジェネレータ

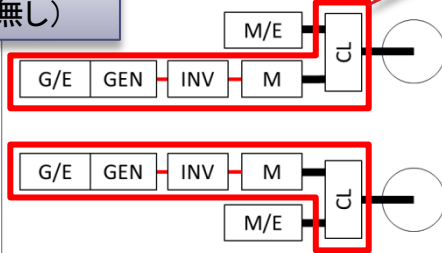
4-1-1. 推進システム 概念図

直結方式

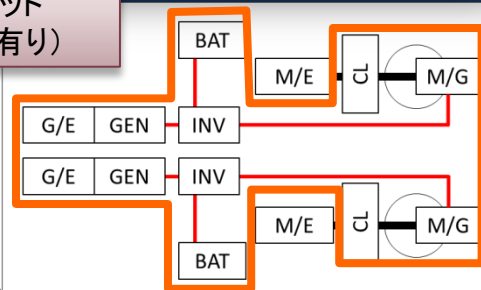
従来型



ハイブリッド
(バッテリー無し)

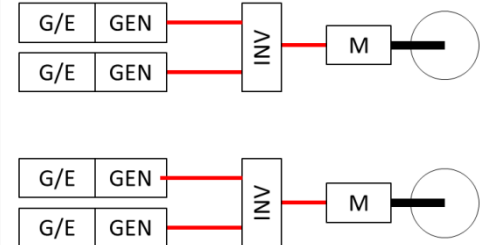


ハイブリッド
(バッテリー有り)



クラッチを介して、モータにより
主機をアシストする

電気推進方式



モータ/ジェネレータにより、主機に余裕が
あるところではバッテリーに充電を行い、主
機負荷が大きくなるところではモータ駆動
で主機をアシストする

4-1-2.

東京湾のタグオペレーション情報の入手

- ▶ 東京湾でのタグ運航情報を入手し、前提条件及びミニマムスペックを決定した。

前提条件

主機台数	二機二軸
出力	3236 kW (4400 PS)
メタン価	85%以上
消防設備	第三種、四種資格取得
喫水	5メートル以下

ミニマムスペック

曳航力	50トン以上
船速	10ノット以上 (エスコート用途では15ノット以上)
旋回性能	現状のタグボートと同程度
負荷追従性	現状のタグボートと同程度

4-1-3. 適合システムの絞り込み

(a)主機(専焼／混焼)の比較

	ガス専焼	ガス・燃料油混焼
排出規制対応	◎ 全海域にて航行可能	○ ディーゼルモードはIMO Tier IIに適合し、指定規制海域(ECA)を除く全海域航行可能 ※ ガスモードはIMO Tier IIIに適合し、指定規制海域(ECA)内も含めて航行可能
ガス燃料で航行中、失火・ノッキング時の対応	△ 回避制御、 回避不可能な場合は機関停止	○ 回避制御、 回避不可能な場合はディーゼルモードに切替可能
ガス燃料供給系統不具合時の対応と冗長性	× ガス燃料供給を緊急遮断、 単独では航行不可	◎ ガス燃料供給を緊急遮断、 但し、ディーゼルモードにて航行可能

※ 緊急時(故障時)には、規制値に適合することができなくともECA内を航行し、帰港することができる。

4-1-3. 適合システムの絞り込み

(b) 駆動方式の比較

	直結方式			電気推進
	ハイブリッド(主機+電動モータ)			
	バッテリー無し	バッテリー有り		
初期コスト	安価	やや高価	高価 (但しバッテリーの容量による)	やや高価
主機不具合時の冗長性	× (主機単体の場合)	○ (モータ駆動)	○ (モータ駆動)	○ (発電機運転台数調整)
バッテリー(主機停止)による航行	不可	不可	可能	不可
主機の効率的な負荷での運転	△	○ (低負荷時、モータ駆動)	○ (低負荷時、モータ駆動)	○ (発電機運転台数調整)
エネルギーの伝達効率	◎	○	○	△
主機出力のアシスト	無し	有り	有り	無し
狭い機関室への機器配置	◎	○	△ (但しバッテリーの容量による)	○

4-1-3. 適合システムの絞り込み

(b) 駆動方式 (ハイブリッド方式について)



- 負荷変動が大きいときに変動分をモータ側で吸収することで主機の負担を減らすことができる(アシストできる)有効的な推進方式である。
- エコタグでも実証されるモードの使い分けとガスエンジンの優位性により、更なる燃費削減と環境負荷低減効果も期待される。



- 従来船型にガス燃料供給設備とハイブリッド関連機器を組み込むのは非常に困難である。
- コストの大幅な増加が負担となる。



現時点ではハイブリッド方式の採用は見送る

4-1-3. 適合システムの絞り込み

(c) 推進方式の比較

	固定ピッチプロペラ(FPP)	可変ピッチプロペラ(CPP)
メリット	<ul style="list-style-type: none">・初期コストがCPPより安価・システム構成がCPPよりシンプル	<ul style="list-style-type: none">・負荷変動時、主機の負担をある程度軽減可能

現在稼動しているガス燃料船で直結推進方式の場合はCPPが主流となっているが、これは急激な負荷変動時に、負荷をピッチで吸収させることで主機への負担を軽減することができる為である。但し、ガスエンジンの負荷追従性が向上し、従来のディーゼルエンジンと同程度となれば、敢えて初期コストと保守・点検に負担がかかるCPPは不要と考えられる。

4-2. 機器・安全要件の分析

4-2-1. ガスタンクの選定

4-2-2. 付属機器の検討

4-2-3. 安全要件の検討

4-2-1. ガスタンクの選定

本研究ではガス燃料船として、LNG(液化天然ガス)を前提として検討を進めていたが、自動車等で使用されているCNG(圧縮天然ガス)についても併せて検討を行った。

4-2-1. ガスタンクの選定

	LNGタンク	CNGタンク
タンク容量	○	△ (同じエネルギーを得る為には、LNGより容量が大きくなる)
タンク重量	○	△ (高圧ガスの為、タンク強度が必要)
ガス性状	△ (一定の性状を得る為の対策が必要)	○
ガス供給	○	△ (東京湾でCNG供給場所が無い)
コスト	△ (気化器などの付属品が必要 なため割高)	○

4-2-1. ガスタンクの選定

	LNGタンク	CNGタンク
ボイルオフガス対策	必要	不要
スロッシング対策	必要	不要
入出渠時の特殊作業	必要 (入渠時のウォーミングアップ、 出渠時のクールダウン)	不要

4-2-2. 付属機器の検討

- ▶ タンク以外の付属機器について、どのようなものが必要となるのか検討を行った。

ガスを機関で使用可能な温度圧力状態にする為の気化器(LNG)・加熱器(CNG)、減圧装置

ガス検知システム等の火災・爆発対策の為の安全設備

ガスパーズの為のN₂発生装置

船側のバンカー用設備

ガスフリー設備

ボイルオフガス処理設備(LNG)

ウォーミングアップ、タンククールダウンの為の設備(LNG)

4-2-3. 安全要件の検討①

- ▶ タグボートに対して、NKガス燃料船ガイドライン（2012年1月）を適用した場合について検討した。

項目	懸念事項
燃料タンク配置	燃料タンクは船体中心線近くに配置されなければならない。船側外板・船底外板から2m以上の距離が必要。
圧力逃し弁のベント	圧力逃し弁のベント出口の高さは、暴露甲板上6m以上必要。また、居住区域や排ガス出口から少なくとも10m以上の距離に設置しなければならない。

4-2-3. 安全要件の検討②

項目	懸念事項
燃料タンクホールスペース	所定の開口から過圧を逃す為の爆発圧力逃し装置を備えなければならない。
	非危険場所からの交通はエアロックが必要。
タンクコネクションスペース	タンクの接続部、付属品等は、タンクコネクションスペース内に設けなければならない。
	甲板から直接の交通手段を持つか、非危険場所との交通にエアロック必要。
機関区域	ESD保護機関区域としない場合、燃料ガス配管は2重管又はダクト内に設置する必要あり。
	ガス安全区域内のガス弁ユニット室は、通常施錠された状態で、ガスフリーされた後のみ入るのであれば、エアロックの要件には適合しないが、ドアに表示板が必要。また、毎時30回の換気能力を持つ通風装置、ガス検知装置の設置が必要。

4-2-3. 安全要件の検討③

項目	懸念事項
LNGタンク	15日間の貯留期間が必要。この期間中に圧力逃し弁の設定圧力に達してはならない。
CNGタンク	(1)火災の際にタンクの圧力を下げる手段が必要。 (2)全ての表面が熱的に保護されている。 (3)固定式消火設備設置。
関連機器	ガスフリー及びイナーテイング設備、ガス測定装置が必要。

- ▶ タグボートのスペースに関する特殊性から、排出用ベントの位置等、さらなる検討が必要。

4-3. 見極め

4-3-1. 最適なガス燃料推進システムの選定

- 各推進システム機器構成要素の検討から、最適な組み合わせを選定した。

4-3-2. 船舶燃料システムの構築

- 推進システム及び付属機器に関して、LNGタンクとCNGタンクのそれぞれの場合について構成案を作成した。

4-3-3. インフラ調査

- LNG及びCNG供給インフラについて調査・検討を行った。

4-3-1.

最適なガス燃料推進システムの選定



補機関については出力が小さいのでNO_x規制対象外であり、ブラックアウトからの復旧など、安全性確保の面から信頼性の高い従来型の燃料油専焼機関が有利である。

4-3-1.

最適なガス燃料推進システムの選定

主機

- **ガス・燃料油混焼機関**
 - ガスモードで運転時の失火等の場合には、MDOに切り換え可能となり、運航の安全性が向上する(船主にとっての最重要項目)
 - 入出渠時に、MDOで対応可能であり、通常のタグボートと同様のオペレーションが可能
 - 結果、最適な主機はガス・燃料油混焼機関と判断した

4-3-1. 最適なガス燃料推進システムの選定

ガス・燃料油混焼機関の技術目標



- ▶ 2MWクラス
- ▶ パイロット油着火方式
- ▶ エミッション
 - GHG15%低減
 - IMO-NOx TierⅢ対応
- ▶ 燃料油運転とガス運転の任意切替
(緊急時燃料油へ自動切替)
- ▶ プロペラ直結駆動
- ▶ ガスモードでの負荷追従性:
 - 0→100%まで15秒

4-3-1.

最適なガス燃料推進システムの選定

駆動・推進方法

- 駆動軸直結
- 固定ピッチプロペラ
 - タグボートに搭載可能なガス燃料油混焼エンジンが開発されれば、コスト面、構造面で優位となる
 - 現状ではハイブリッド方式はコストが高くなる

4-3-2.

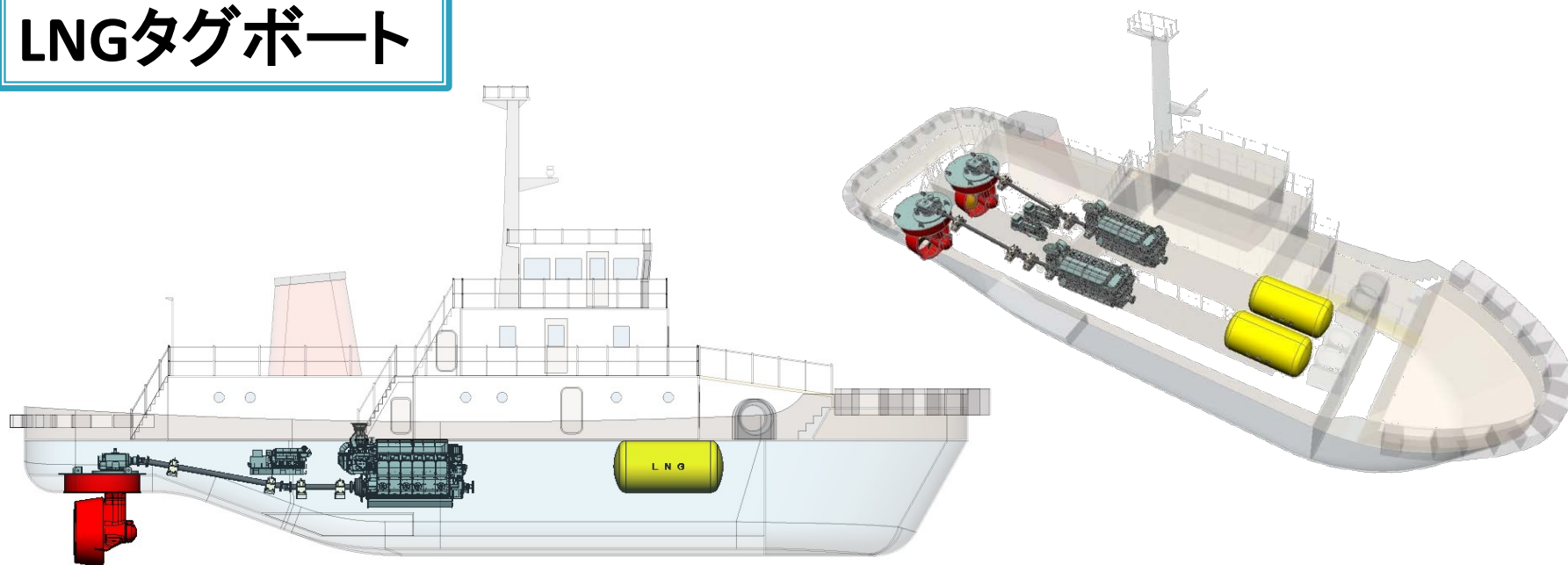
船舶燃料システムの構築

推進システム及び付属機器に関して、LNGタンクとCNGタンクのそれぞれの場合について構成案を作成した。

LNGタグボートについては、1週間に1度の補給ベースでの検討を行った。CNGについては、LNGタグと同じ船型サイズをベースに検討した。

4-3-2. 船舶燃料システムの構築①

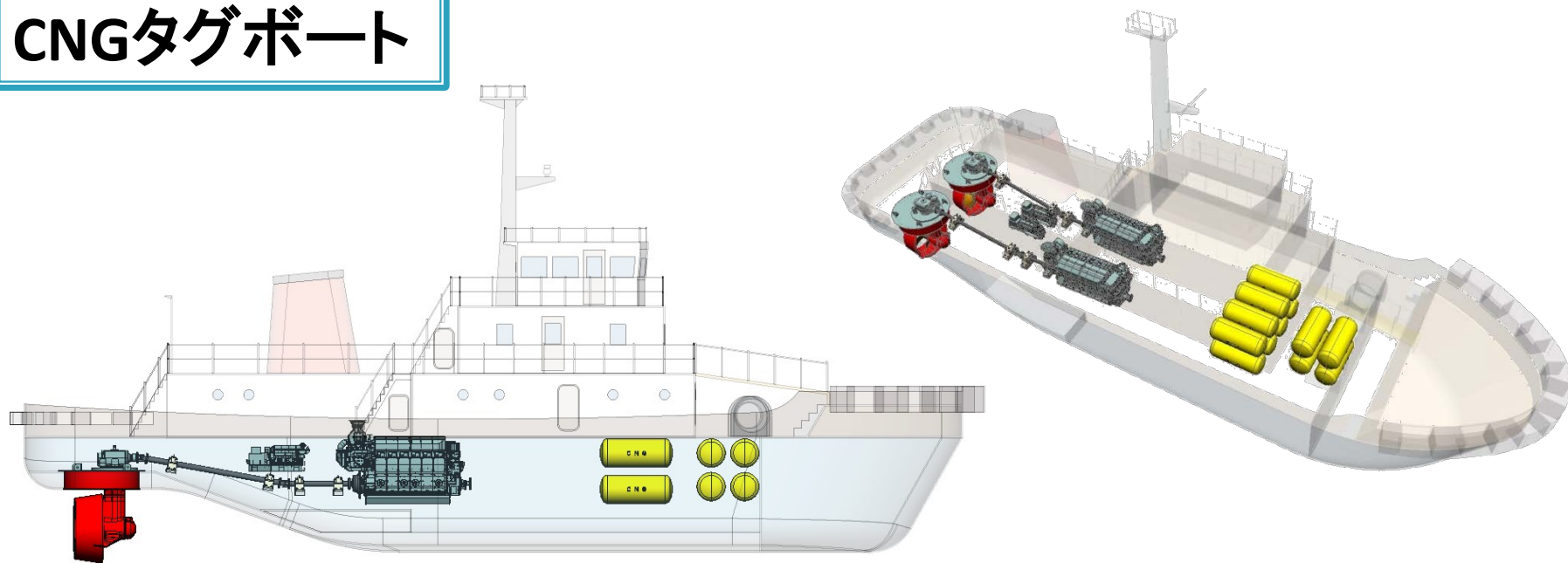
LNGタグボート



- ▶ LNGタンク(12.5m³) × 2基 : 25.0m³
 - ▶ ガス量13,200m³/常温常圧
 - ▶ 1週間に1回の補給ベース

4-3-2. 船舶燃料システムの構築②

CNGタグボート



▶ CNGタンク(2.0m³) × 12基 : 24.0m³

(LNGタグボートと同じ船型にCNGタンクを配置した場合)

- ▶ ガス量6,000m³/常温常圧
- ▶ 約3日に一度補給

4-3-2.

船舶燃料システムの構築

燃料システム

- LNGタンク、CNGタンクのどちらでも対応可能
 - ボイルオフガスが出ないなど、取扱性についてはCNGにメリットが見られるが、大型CNGタンクの製造コストや、東京湾では現状CNG供給不可能であることなどの課題も多い。
 - ルール対応については、いずれの場合も小型内航船を対象としたものは未整備であり、今後の検討が必要とされる。

4-3-3. インフラ調査

LNG及びCNGの供給設備について調査したが、東京湾岸には小型船舶用のインフラが未整備であることが判明した。

一部のLNG基地においては、既存のLNG供給設備を改造することで対応出来る可能性があるが、更なる検討が必要である。

5. まとめ

1. 東京湾で運航されるLNG燃料タグボートの基本設計（推進システム、燃料システムの配置等）を構築した。

推進システムについては、ガス・燃料油混焼機関、駆動軸直結、固定ピッチプロペラ(FPP)の組み合わせが最適である。

ガスタンクについてはLNG・CNG共に長短があり、インフラの整備状況によって、両タンクとも対応可能となる。

付属機器については、必要となる機器の検討を行った。

2. タグボートは船内スペースに制約があるため、安全性・安全要件については、排出ベントの現実的な配置等、詳細設計での更なる検討が必要である。

6. 今後の課題

船内レイアウトも含め、船級ガイドラインに沿った安全なガスシステムの詳細検討を行う(排出用ベントの位置等)

タグボートの操船性を満足するDFエンジンの開発

船価、オペレーションコストの試算

船型・サイズ変更に対して模型試験・シミュレーションによる、運動性能の確認

バンカリング・ガスフリー設備と方法および規制の確認検討

乗組員の資格・要件の調査

内航船安全要件の策定

発電機の検討(ボイルオフガス(BOG)の使用等)

以上